

## Практическое занятие 2

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Основной функциональной единицей в экологии является экосистема. Впервые термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским экологом Артуром Тэнсли. *Экологическая система* представляет собой группы видов растений, животных, грибов и микроорганизмов, которые взаимодействуют между собой и окружающей средой. В экосистеме происходит постоянный круговорот веществ с участием биотического и абиотического компонентов (рис.1).

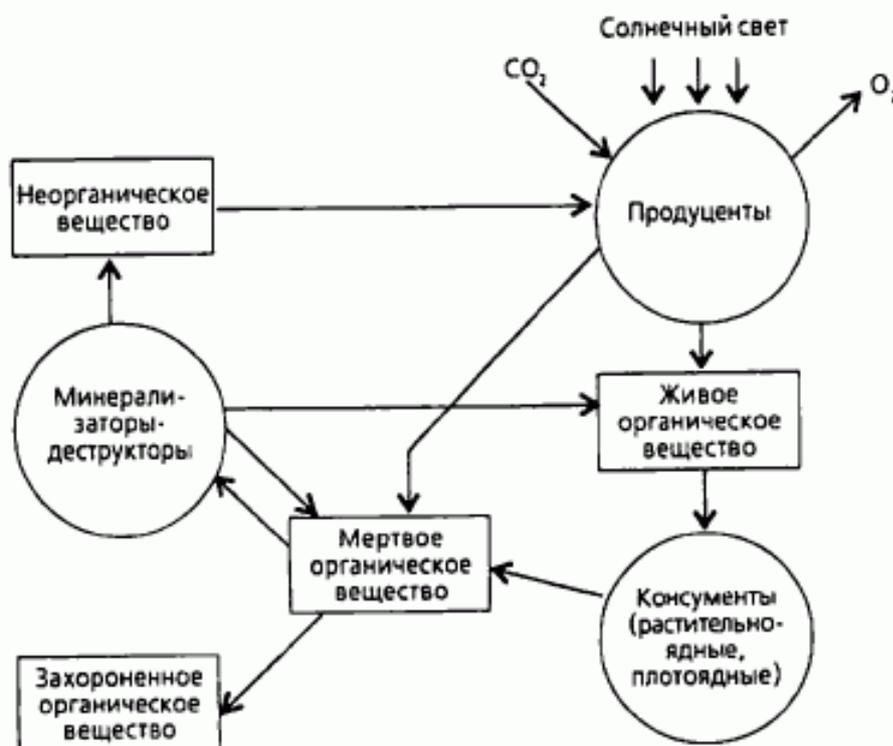


Рис. 1. Функциональная структура экосистемы и потоки вещества в экосистеме

В 1940 году Владимиром Николаевичем Сукачевым был предложен термин «*биогеоценоз*», который широко применяется в отечественной литературе. *Биогеоценоз* – это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их неживой природы (рис. 2). Совокупность живых организмов называют *биотой экосистемы*, или *биоценозом*. Участок земной поверхности с однородными условиями обитания, занимаемый тем или иным биоценозом, называется *биотопом*. Биотоп, который приобрел определенные изменения в результате деятельности живых организмов получал название *эктоп*. Таким образом,

биотоп - это условия среды, видоизмененные живыми организмами, а экотоп - первичный комплекс факторов физико-географической среды без участия живых существ.

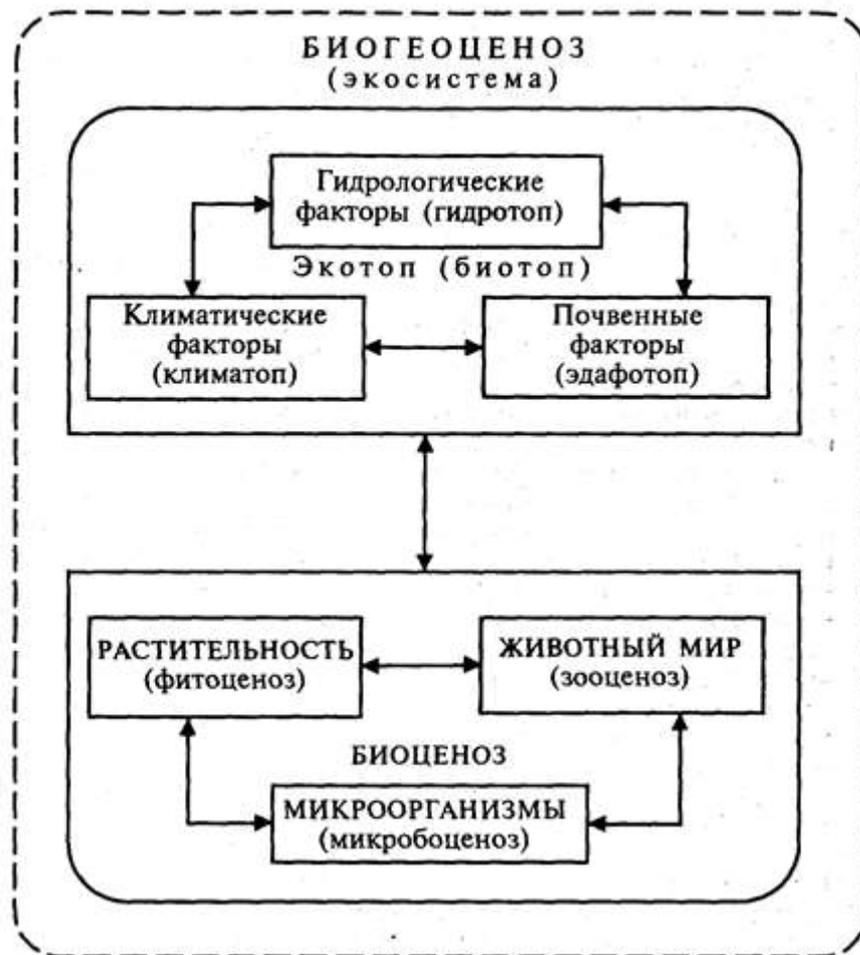


Рис. 2. Схема биогеоценоза по В. Н. Сукачеву

Биогеоценоз характеризуется определенным энергетическим состоянием, типом и скоростью обмена веществом и информацией. Совокупность тесно связанных биоценозов одной природно-климатической зоны называется *биомом*.

С точки зрения пространственной структуры, экосистему можно разделить на два яруса:

- **верхний** - автотрофный, который включает растения или их части, содержащие хлорофилл, где преобладает фиксация энергии света, использование простых неорганических соединений.

- **нижний** - гетеротрофный ярус, ярус почв, разлагающихся веществ, корней, в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений.

С биологической точки зрения, в составе экосистемы выделяют следующие компоненты:

- неорганические вещества, включающиеся в круговороты;
- органические соединения, связывающие биотическую и абиотические части;
- воздушную, водную и субстратную среды, включающие климатический режим и другие физические факторы;
- продуцентов, автотрофных организмов, производящих пищу из простых неорганических веществ;
- консументов - гетеротрофных организмов, главным образом животных, питающихся другими организмами или частицами органического вещества;
- редуцентов - гетеротрофных организмов, получающих энергию либо путем разложения мертвых тканей, либо путем поглощения растворенного органического вещества. Некоторые редуценты, называемые детритофагами, питаются непосредственно мертвой органической материей. Другие редуценты, называемые деструкторами, разлагают сложные органические соединения до более простых питательных веществ, которые возвращаются в почву для повторного использования растениями.

Каждый биогеоценоз характеризуется видовым разнообразием, численностью и плотностью популяции каждого вида, биомассой и продуктивностью. Для оценки сходства ценозов разработано несколько методов, из которых наиболее простым является бинарный индекс сходства, предложенный швейцарским ученым Полем Жаккаром в 1901 году. Индекс сходства выражается в процентах сходства и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{C}{(A + B) - C} \cdot 100$$

где К – индекс сходства;

А – число видов в первом ценозе;

В – число видов во втором ценозе;

С – число видов, общих для обоих ценозов.

***Если значение индекса сходства более 50%, то ценозы считаются сходными, если менее 50% - различными.***

В формирующихся экосистемах на образование вторичной продукции расходуется лишь часть прироста биомассы; в экосистеме происходит накопление органического вещества. Такие экосистемы закономерно сменяются другими типами экосистем. Закономерная смена экосистем на определенной территории называется **сукцессия**. Накопление органического вещества и

энергии на трофических уровнях приводит к повышению устойчивости экосистемы. В ходе сукцессии в определенных почвенно-климатических условиях формируются окончательные **климаксные** сообщества. В климаксных сообществах весь прирост биомассы трофического уровня расходуется на образование вторичной продукции. Такие экосистемы могут существовать бесконечно долго.

### **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ**

*Продуктивность экологической системы* – это скорость, с которой растения-продуценты усваивают лучистую энергию солнца в процессе фотосинтеза, образуя органическое вещество. Та часть солнечного излучения, которая способна поглощаться хлорофиллами в процессе фотосинтеза называется **фотосинтетически активной радиацией (ФАР)**. ФАР имеет спектр волн от 380 до 710 нм и состоит из прямых солнечных лучей и рассеянного света. Прямая радиация попадает на растения при безоблачном небе в виде параллельных лучей в основном на наружные листья. Рассеянная радиация образуется в результате преломления солнечных лучей взвешенными в атмосфере парами воды, льда, частицами пыли, а также внешними листьями растений. В рассеянном свете на долю ФАР приходится до 90%, то есть **рассеянный свет в отличие от прямых солнечных лучей может быть поглощен растением почти полностью**. Основная энергия для фотосинтеза поставляется красными (620-740 нм) и оранжевыми (595-620 нм) лучами. Желтые (565-595 нм) и зеленые (490-565 нм) лучи физиологически малоактивны и практически не влияют на интенсивность фотосинтеза. Синие (420-490 нм) и фиолетовые (360-420 нм) лучи оказывают влияние на развитие побегов и листьев, ультрафиолетовые лучи (220-360 нм) способствуют образованию биологически активных веществ, задерживающих рост верхушечной почки и вытягивание стебля.

Теоретическая возможная скорость создания первичной биологической продукции определяется как возможностями фотосинтетического аппарата растений, так и количеством энергии, поступающим на данную территорию. Известно, что приход ФАР определяется широтой местности (табл.1).

*Таблица 1. Среднемесячные значения ФАР, кДж/см<sup>2</sup>*

Города	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С.-Петербург	0,8	3,3	9,6	16,3	24,2	27,6	26,3	18,8	11,7	4,6	1,3	0,4
Киев	5,0	5,4	15,0	19,6	28,8	32,1	32,1	26,3	17,9	10,4	5,0	3,3
Кишинев	5,4	10,0	15,0	22,5	29,6	32,6	31,7	28,8	22,5	13,4	7,0	4,2

В природе максимально достигаемый КПД фотосинтеза - 10-12% энергии ФАР, отмечается в зарослях джугары и тростника в Таджикистане в кратковременные, наиболее благоприятные периоды. КПД фотосинтеза в 5% считается очень высоким для фитоценоза. В целом по континентам КПД ФАР колеблется от 0,44 в Австралии и Океании до 1,26 в Европе (табл. 2). Средний коэффициент использования энергии ФАР для территории России равен 0,8 %, на европейской части страны составляет 1,0-1,2 %.

Таблица 2. Продуктивность естественного растительного покрова

Части света	КПД ФАР	Средняя продуктивность, ц/га
Европа	1,26	85
Азия	0,88	98
Африка	0,59	103
Северная Америка	0,94	82
Южная Америка	1,13	209
Австралия и Океания	0,44	86

Средняя продуктивность естественного растительного покрова различается сравнительно мало. Исключением является Южная Америка, на большей части которой условия для развития растительности являются очень благоприятными.

Органическую массу, создаваемую растениями за единицу времени, называют **первичной продукцией** сообщества. Продукцию выражают количественно в сырой или сухой массе растений либо в энергетических единицах - килокалориях или джоулях. Первичную биологическую продукцию экосистем ограничивают или климатические факторы (недостаток тепла, влаги) или нехватка биогенных элементов. **Валовая первичная продукция** - это количество вещества, создаваемого растениями за единицу времени при данной скорости фотосинтеза. Часть этой продукции идет на поддержание жизнедеятельности самих растений (траты на дыхание). Оставшаяся часть созданной органической массы характеризует **чистую первичную продукцию**, которая представляет собой величину прироста растений. Чистая первичная продукция - энергетический резерв для консументов и редуцентов. Перерабатываясь в цепях питания, она идет на пополнение массы гетеротрофных организмов. Прирост за единицу времени массы консументов называется **вторичной продукцией** сообщества. Вторичную продукцию вы-

числяют отдельно для каждого трофического уровня, так как прирост массы на каждом из них происходит за счет энергии, поступающей с предыдущего.

Гетеротрофы, включаясь в трофические цепи, живут за счет чистой первичной продукции сообщества. В разных экосистемах они расходуют ее с разной полнотой. Если скорость изъятия первичной продукции в цепях питания отстает от темпов прироста растений, то это ведет к постепенному увеличению общей биомассы продуцентов. **Под биомассой** понимают суммарную массу организмов данной группы или всего сообщества в целом. Недостаточная утилизация продуктов опада в цепях разложения имеет следствием накопление в системе мертвого органического вещества, что происходит, например, при заторфовывании болот, зарастании мелководных водоемов, создании больших запасов подстилки в таежных лесах и т.д. Биомасса сообщества с уравновешенным круговоротом веществ остается относительно постоянной, так как практически вся первичная продукция тратится в цепях питания и разложения.

Скорость создания органического вещества не определяет его суммарные запасы, т.е. общую биомассу всех организмов каждого трофического уровня. Наличная биомасса продуцентов или консументов в конкретных экосистемах зависит оттого, как соотносятся между собой темпы накопления органического вещества на определенном трофическом уровне и передачи его на вышестоящий.

Отношение годового прироста растительности к биомассе в наземных экосистемах сравнительно невелико. Даже в наиболее продуктивных дождевых тропических лесах эта величина не превышает 6,5%. В сообществах с преобладанием травянистых форм скорость воспроизводства биомассы гораздо выше. Отношение первичной продукции к биомассе растений определяет те масштабы потребления растительной массы, которые возможны в сообществе без изменения его продуктивности.

Как показали исследования, биомасса и первичная продуктивность систем в разных географических областях варьирует в достаточно широких пределах (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Биомасса, первичная и вторичная биологическая продуктивность экосистем (Реймерс, 1990)

Экосистема	Площадь, млн. км <sup>2</sup>	Биомасса растений, кг/м <sup>2</sup>	Общая биомасса растений, млрд. т	Общая биомасса животных, млн. т	Чистая первичная продукция, кг/м <sup>2</sup> за год	Общая чистая первичная продукция, млрд. т в год	Продуктивность животных, млн. т. в год
1	2	3	4	5	6	7	8
Влажные тропические леса	17,0	45	765	330	2,2	37,4	260
Тропические сезонно-зеленые леса	7,5	35	260	90	1,6	12	72
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	35	175	50	1,3	6,5	26
Листопадные леса умеренного пояса	7,0	30	210	100	1,2	8,8	42
Тайга	12,0	20	240	57	0,8	9,6	38
Лесостепи	8,5	6	50	40	0,7	6	30
Саванна	15,0	4	60	220	0,9	13,5	300
Луговая степь	9,0	1,6	14	60	0,6	5,4	80
Тундра и высокогорье	8,0	1,6	14	60	0,140	1,1	3
Пустыни и полупустыни	18,0	0,7	13	8	0,09	1,6	7
Сухие пустыни, скалы, ледники	24,0	0,02	0,5	0,02	0,003	0,07	0,02
Культивируемые земли	14,0	1	14	6	0,65	9,1	9
Болота	2,0	15	30	20	2,0	4,0	32
Озера	2,0	0,02	0,05	10	0,25	0,5	10
Морские экосистемы	361	0,01	3,9	997	0,152	55	3025
<b>В целом на планете</b>	<b>510</b>	<b>3,6</b>	<b>1841</b>	<b>2002</b>	<b>0,333</b>	<b>170</b>	<b>3934</b>

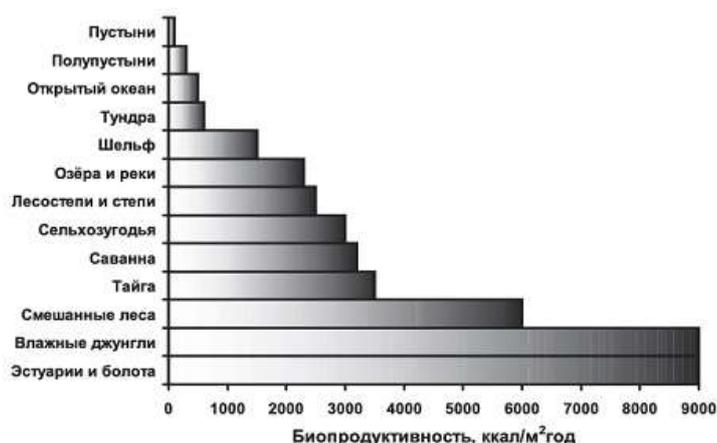


Рис. 3. Биопродуктивность экосистем как энергия, накопленная продуцентами в процессе фотосинтеза

Р. Уиттекер (1980) по первичной биологической продукции разделяет экосистемы на четыре класса:

- очень высокая – свыше 2 кг/м<sup>2</sup> в год;
- высокая – 1–2 кг/м<sup>2</sup> в год;
- умеренная - 0,25–1 кг/м<sup>2</sup> в год;
- низкая– менее 0,25 кг/м<sup>2</sup> в год.

Запасы живой биомассы определяют степень устойчивости экосистемы (табл.4).

Таблица 4. Классификация экосистем по степени устойчивости

Показатель устойчивости	Значение показателя	Балл устойчивости	Степень устойчивости
Биомасса, ц/га	менее 125	1	Неустойчивые
	125-500	2	Слабоустойчивые
	501-1500	3	Умеренно устойчивые
	1501-4000	4	Среднеустойчивые
	Более 4000	5	Высокоустойчивые

В большинстве наземных экосистем действует **правило пирамиды биомасс**: суммарная масса растений больше, чем биомасса всех фитофагов и травоядных, а масса тех, в свою очередь, превышает массу всех хищников. Отношение годового прироста растительности к биомассе в наземных экосистемах сравнительно невелико. В разных фитоценозах, где основные продуценты различаются по длительности жизненного цикла, размерам и темпам роста, это соотношение варьирует от 2 до 76%. Особенно низки темпы относительного прироста биомассы в лесах разных зон, где годовая продукция составляет лишь 2 – 6 % от общей массы растений, накопленной в телах дол-

гоживущих крупных деревьев. Даже в наиболее продуктивных дождевых тропических лесах эта величина не превышает 6,5%. В сообществах с господством травянистых форм скорость воспроизводства биомассы гораздо выше: годовая продукция в степях составляет 41-55%, а в травяных тугаях (пойменные леса в пустынях Средней Азии и Центральной Азии) и эфемерно-кустарниковых полупустынях достигает даже 70 – 76%. Отношение первичной продукции к биомассе растений определяет масштабы выедания растительной массы, которые возможны в сообществе без подрыва его продуктивности. Относительная доля потребляемой животными первичной продукции в травянистых сообществах выше, чем в лесах. Копытные, грызуны, насекомые-фитофаги в степях используют до 70% годового прироста растений, тогда как в лесах в среднем не более 10%.

Для оценки подвижности органического вещества при трансформации продукции используют показатель *скорость общего оборота органического вещества*, который определяется как отношение величины запаса живого и мертвого органического вещества к продукции, выраженное в процентах.

#### **Задание:**

1. Зарисовать рисунки 1 и 2.
2. Ответить на вопросы

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что называется экосистемой?
2. Что называется биогеоценозом? Из каких компонентов он состоит?
3. Что называется биоценозом? Какие организмы входят в биоценоз?
4. Чем биотоп отличается от экотопа?
5. Какова пространственная структура биогеоценоза?
6. Из каких компонентов с биологической точки зрения состоит экосистема?
7. Чем детритофаги отличаются от деструкторов?
8. Для чего используется формула Жаккара?
9. При каких значениях индекса сходства ценозы считаются сходными?
10. Что такое сукцессия?
11. Что такое продуктивность экологической системы?
12. Какая часть солнечного излучения относится к фотосинтетически активной?
13. Какими лучами поставляется основная энергия для фотосинтеза?

14. Какие лучи способствуют образованию биологически активных веществ, задерживающих рост верхушечной почки и вытягивание стебля?
15. Какие лучи оказывают влияние на развитие побегов и листьев?
16. Что называют **первичной продукцией** сообщества? В каких единицах её выражают?
17. Что называют **валовой первичной продукцией** сообщества?
18. Что называют **вторичной продукцией** сообщества?
19. Что такое биомасса сообщества?
20. В каких сообществах биомасса относительно постоянна?
21. К чему приводит недостаточная утилизация продуктов опада растений?
22. Какие сообщества характеризуются наиболее высокой скоростью воспроизводства биомассы?
23. На какие классы Уиттекер разделил экосистемы? Что является критерием?
24. По какому показателю определяют степень устойчивости экосистемы?
25. Что характерно для **пирамиды биомасс** в большинстве наземных экосистем?